



ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO CHULO A PARTIR DE UN BALANCE HÍDRICO MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT DEL AÑO 2018

Diego Felipe García Suárez
Código 3101522
Ingeniero Civil

Director:
Ing. Freddy León Reyes M.Ed

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
ESPECIALIZACIÓN EN GEOMÁTICA
MARZO DE 2021
BOGOTÁ-COLOMBIA**

ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO CHULO A PARTIR DE UN BALANCE HÍDRICO MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT DEL AÑO 2018

Diego Felipe García Suárez
Ingeniero Civil, estudiante de la especialización en Geomática de la UMNG
Universidad Militar Nueva Granada.
Bogotá, Colombia
u3101522@unimilitar.edu.co

RESUMEN

En esta investigación se identificaron los parámetros morfométricos e hidrológicos de la Cuenca del Río Chulo ubicada en el departamento de Tunja. Este análisis se llevó a cabo mediante el uso de una imagen Satelital Landsat 7 del año 2018 tomada sobre la zona de interés, esto para hallar los parámetros morfométricos de la Cuenca, adicionalmente se solicitaron datos abiertos al IDEAM de precipitación y caudales mensuales del año 2018 para de esta manera realizar el análisis hidrológico de la cuenca e identificar los caudales máximos que pueden presentarse en la zona y con esto poder prevenir posibles inundaciones futuras.

Palabras Clave: Cuenca, análisis hidrológico, análisis morfométrico, caudal, precipitación, Landsat 7, Satélites.

ABSTRACT

This study identified the morphometric and hydrological parameters of the Chulo River Basin located in the department of Tunja. This analysis was carried out using a Landsat 7 satellite image of 2018 taken over the area of interest, this to find the morphometric parameters of the basin, In addition, monthly flow rates and precipitation data were requested for the year 2018 to carry out the hydrological analysis of the basin and identify the maximum flows that can occur in the area and thus prevent possible future floods.

Keywords: Basin, hydrological analysis, morphometric analysis, flow, precipitation, Landsat 7, Satellites.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso fundamental para la vida y un factor esencial para la industria productiva, es decir, la determinación de los caudales tiene características especiales. Importancia por el predominio de actividades relacionadas con la cosecha de los recursos hídricos. Esto hace posible proporcionar información valiosa para el Gestión del agua en relación con sus usos: agricultura, silvicultura, energía, construcción, etc.

Por otro lado, estudiar la precipitación y conocer su distribución en el tiempo es un motivo de suma importancia por los estudios hidrológicos. La precipitación como variable de estudio hidrológico se puede caracterizar por la intensidad, su distribución en el espacio y el tiempo y su frecuencia o probabilidad de ocurrencia, y para caracterizarlo, se realizan observaciones series anuales de precipitación para ordenar y obtener los patrones de comportamiento en un área en particular y permiten un mayor análisis. Al mismo tiempo, se pueden proporcionar índices para llevar a cabo investigaciones de inundaciones, esto aplicado a la adecuada planificación y dimensionamiento de las obras de construcción. Para esto es necesario saber Intensidades de precipitación, para diferentes períodos de retorno.

El trabajo actual ha realizado un análisis hidrológico de la cuenca del Río Chulo para el año 2018. La información relacionada con los cambios en los parámetros analizados. Este trabajo contribuye al conocimiento en los cambios hidrológicos naturales que sufre la Cuenca del Río Chulo y analizó las consecuencias de estos cambios en el ecosistema.

Lo que busca con esta investigación es hallar los parámetros morfométricos de la cuenca como los son: el área, el perímetro, la longitud del cauce principal, el índice de Gravelius, el factor de forma, el orden de las corrientes, la densidad de drenaje, la extensión media de la escorrentía superficial, la pendiente de la cuenca, la curva Hipsométrica, la elevación media de la cuenca, la pendiente de la corriente principal y el Rectángulo equivalente

Para llevar a cabo esta investigación se utilizaron como base imágenes de satélite Landsat tomadas en el año 2018, materias primas procesadas con el fin de determinar los parámetros morfométricos de la cuenca y de esta manera poder realizar el análisis hidrológico de la cuenca. Conjuntamente se solicitaron datos hidrográficos al IDEAM de precipitación, esto para 3 estaciones principales en la zona de estudio, la estación Metereológica San Pedro Iguaque de Categoría Pluviográfica, la estación UPTC de categoría Climatológica Principal y la estación San Rafael de categoría Limnimétrica.

Las imágenes provenientes de los Satélites Landsat facilitan la ubicación e identificación de la Cuenca del Río Chulo, brindando una fácil interpretación de la cartografía y morfología del cauce del río y de esta manera poder realizar el análisis hidrológico en combinación con los datos obtenidos del IDEAM y así predecir eventos futuros teniendo en cuenta los análisis realizados.

Las imágenes Landsat 8, se obtuvieron de la página Alos Palsar, mediante estas se puede estudiar los recursos naturales y las características físicas del terreno.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización

El Río Jordan o llamado popularmente Río Chulo es uno de los ríos de la ciudad colombiana de Tunja, la cual atraviesa de norte a sur hasta el Embalse La Playa. No es un río navegable ni especialmente caudaloso, pero constituye uno de los afluentes del río Chicamocha. La cuenca del Jordan alberga cerca de doscientas mil personas.

El Río Chulo nace en los páramos de la vereda de Runta en el sur de la ciudad, luego desciende de las montañas de occidente, discurre a lo largo del valle y desemboca en el Río Chicamocha.

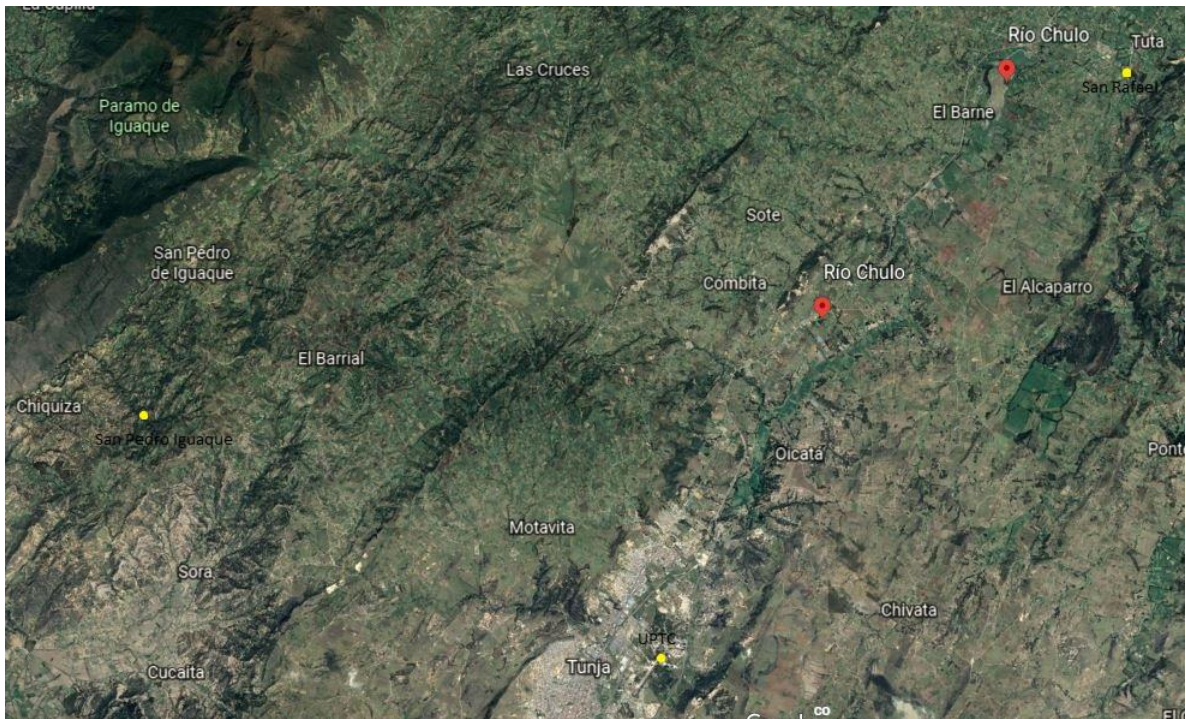


IMAGEN 1. Se observa una imagen satelital obtenida de Google Earth, donde se muestra la localización del Río Chulo y las estaciones tres estaciones. Tomada de Google Earth

2.2. Delimitación de Cuenca

Se realizó la delimitación de la cuenca del río chulo hasta el punto de la estación IDEAM tipo L llamada San Rafael.

TABLA 1. Muestra las estaciones del IDEAM tipo P, C y L que fueron seleccionadas para la realización del proyecto. Elaboración Propia

NOMBRE	CLASE	CATEGORÍA	MUNICIPIO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
SAN PEDRO IGUAQUE	METEREOLOGICA	PLUVIOGRAFICA (PG)	CHÍQUIZA	5,64	-73450444	2985
UPTC	METEOROLOGICA	CLIMATOLOGICA PRINCIPAL (CP)	TUNJA	5,5430775	-73,3608131	2690
SAN RAFAEL	HIDROLOGICA	LIMNIMETRCIA (LM)	TUTA	5,70838889	-73,2421667	2500

La imagen 2, evidencia la Cuenca del Río Chulo hallada mediante un DEM de la zona de estudio utilizando el Software ArcGIS.

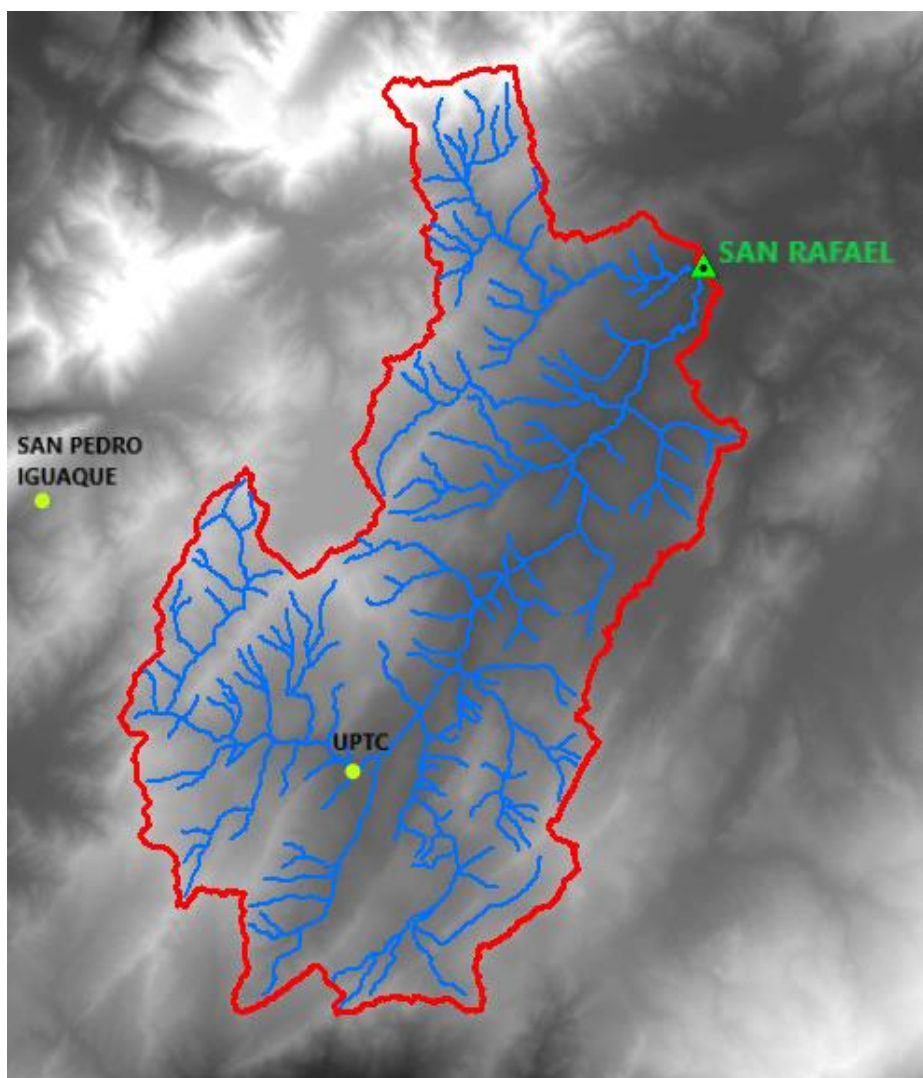


IMAGEN 2. La imagen muestra la cuenca de Río Chulo delimitada, también muestra la estación LM (San Rafael) ubicada en el municipio de Tuta, la estación CP (UPTC) Ubicada en el municipio de Tunja y la estación PG (San Pedro Iguaque) ubicada en el municipio de Chíquiza. Elaboración propia

La imagen 3, muestra el drenaje que esta presenta en la cuenca del Río Chulo y las 3 estaciones con las que se realizo el estudio.



IMAGEN 3. Muestra el drenaje presente en la cuenca visto mediante una imagen satelital, donde también se ven las tres estaciones de la cuenca. Fuente Google Earth

- ❖ Perímetro= 128,612 Km
- ❖ Centroide X= 1082,925 Km
- ❖ Centroide Y=1111,663 Km
- ❖ Longitud Cause Principal = 36,094 Km
- ❖ Numero de corrientes= 163
- ❖ Longitud total Quebradas= 362,211 Km
- ❖ Longitud total Corrientes=398,306 Km

3.2. Orden de las corrientes

El orden de las corrientes se realizó con el fin de conocer el grado de bifurcación dentro de la cuenca.

Se consideran corrientes de primer orden, aquellas corrientes fuertes, portadoras de aguas de nacimientos y que no tienen afluentes. Cuando dos corrientes de orden uno se unen, resulta una corriente de orden dos. De manera general, cuando dos corrientes de orden i se unen, resulta una corriente de orden $i+1$. Cuando una corriente se une con otra de orden mayor, resulta una corriente que conserva el mayor orden.

La imagen 5, muestra todas las corrientes de la cuenca del Río Chulo y el orden de estas.

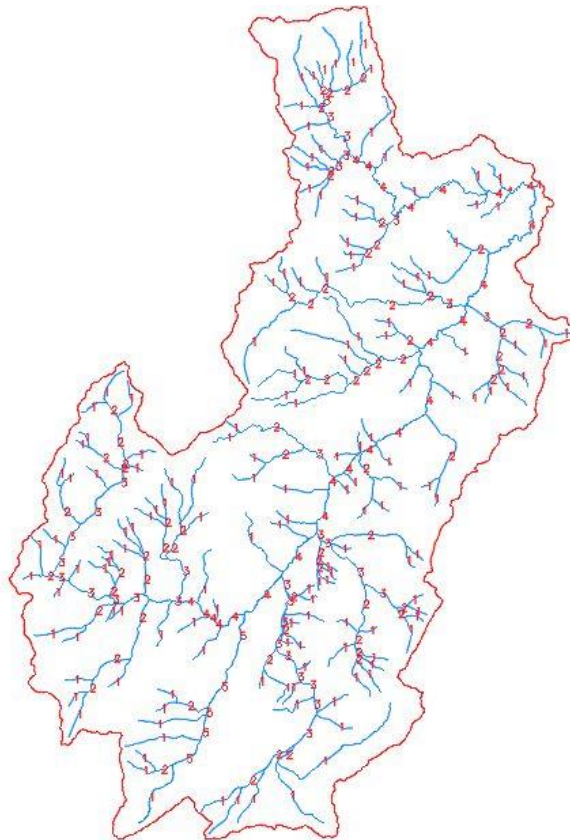


IMAGEN 5. Muestra la cuenca delimitada con el orden de corrientes. Elaboración en AutoCAD mediante Layout

3.3. Densidad del drenaje

La densidad de drenaje (D_D) se calculó con el fin de relacionar la longitud de las corrientes (L_{TC}) en la cuenca y el área total de la cuenca (A).

$$D_D = \frac{L_{TC}}{A}$$

$$D_D = \frac{398,306 \text{ Km}}{373,292 \text{ Km}^2}$$

$$D_D = 1,067 \text{ Km/Km}^2$$

El valor obtenido para la densidad del drenaje fue de 1.067 km/km², es decir, la cuenca tiene un excelente drenaje ya que $D_D > 1,5$.

3.4. Extensión media de la escorrentía superficial

Se calculo la escorrentía superficial (L_R) (agua que discurre sobre la superficie por acción de la gravedad sin infiltrarse en el suelo) con un valor de 0.287 km, es decir, el suelo tiene capacidad de infiltración de agua alta.

$$L_R = \frac{A}{4L_{TC}}$$

$$L_R = \frac{373,292 \text{ Km}^2}{4 * 398,306 \text{ Km}}$$

$$L_R = 0,287 \text{ Km}$$

3.5. Pendiente de la cuenca

3.5.1. Pendiente Media

La pendiente media de la cuenca se calculo en Arcgis, mediante la combinación de diferentes herramientas del programa.

TABLA 2. Muestra los resultados obtenidos en Arcgis para la pendiente media de la cuenca, siendo esta la resaltada en color amarillo

OBJECT	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	1	239235	373,292	0	300,083	300,083	16,9291	12,3213	40500417,93

A detailed map of the catchment area of the Río Otavalo. The river network is shown in blue, originating from various headwaters like Quebrada La Fuenta, Quebrada El Tumbador, and Quebrada La Vieja, which converge into the main Río Otavalo. The catchment boundary is outlined in red. The surrounding terrain is depicted with green and brown shading, indicating elevation changes. Numerous towns and settlements are marked with black dots and labeled, such as Sotagüira, Mañunza, San Rafael, San Antonio, Pijallas, Soquerón, Azulejos, Copalla, Marlen, Hotel El, San Cristóbal, San Francisco, San Pedro, Tocha, Sol de Plata, Siachoque, and Arcabuco. Elevation points are also indicated with numerical values in brackets next to some locations.

3.5.2. Pendiente Promedio

TABLA 3. Se muestran los datos obtenidos en Arcgis, mediante los cuales se calculó la pendiente promedio, la cual se encuentra resaltada en color amarillo

R. de Pendientes					
No.	Inferior	Superior	Promedio	No. de Ocurrencia	Promedio*No. de ocurrencia
1	0	5	2,5	122320	305800
2	5	10	7,5	865124	6488430
3	10	15	12,5	228666	2858325
4	15	20	17,5	52951	926642,5
5	20	25	22,5	13353	300442,5
6	25	30	27,5	3741	102877,5
7	30	35	32,5	1155	37537,5
8	35	40	37,5	433	16237,5
9	40	45	42,5	214	9095
10	45	50	47,5	111	5272,5
11	50	55	52,5	63	3307,5

3.5.3. Pendiente del cauce principal

La pendiente del cauce principal es la pendiente que lleva el río (Río Chulo) en su recorrido por la cuenca, esta se calculó en ArcGIS.

La imagen 8, muestra la gráfica de la pendiente del cauce principal, es decir, la pendiente que lleva el Río Chulo dentro de la cuenca.

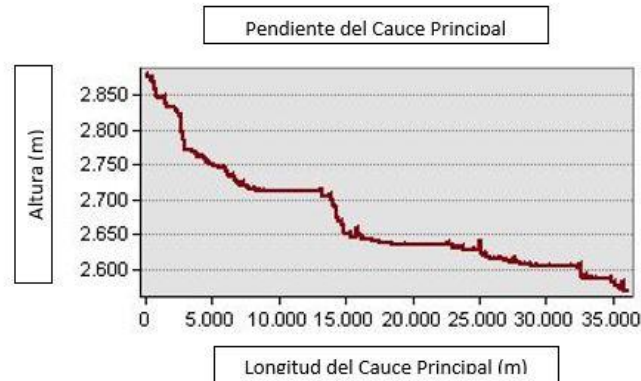


IMAGEN 8. La imagen muestra la pendiente del cauce principal

3.5.4. Pendiente promedio

La pendiente promedio (S_{lm}) controla la velocidad con que saldrá la escorrentía superficial en la cuenca, es decir, a mayor pendiente mayor velocidad tendrá la escorrentía superficial, para la cuenca del Río Chulo el pendiente promedio hallada fue de 0.867%, lo que evidencia alta velocidad de la escorrentía superficial.

$$S_{lm} = \frac{C_{max} - C_{min}}{L}$$

$$S_{lm} = \frac{2.881 - 2.568}{36.094}$$

$$S_{lm} = 8.67 * 10^{-3}$$

$$S_{lm} = 0.867\%$$

3.6. Resultados morfométricos obtenidos para la cuenca

TABLA 4. Muestra los resultados obtenidos respecto a los valores morfométricos que caracterizan a la cuenca del Río Chulo.

CUENCA RIO CHULO	
Área (km ²)	373,292
Perímetro (km)	128,612
Centroide X (Km)	1082,925
Centroide Y (Km)	1111,663
Long Cauce principal (Km)	36,094
Numero de corrientes	163
Long Total Corrientes (km)	398,306
Long Total Quebradas (km)	362,211
Densidad de drenaje (Km/Km ²)	1,067
Extensión media de la escorrentía superficial	0,234
PENDIENTE DE LA CUENCA	
Pendiente media	16,923
Pendiente Promedio	8,584
PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL	
Pendiente promedio	0,87%

3.7. Análisis hidrológico de la cuenca

Para llevar a cabo el análisis hidrológico, se solicitó al IDEAM la información mensual de:

- ❖ Para la estación P: Precipitación total, número de días de precipitación, precipitación máxima de 24 h.
- ❖ Para la estación L: Caudales medios, máximos, mínimos y niveles medios.
- ❖ Para la estación C: Temperatura media, mínima y máxima, brillo solar, radiación y vientos.

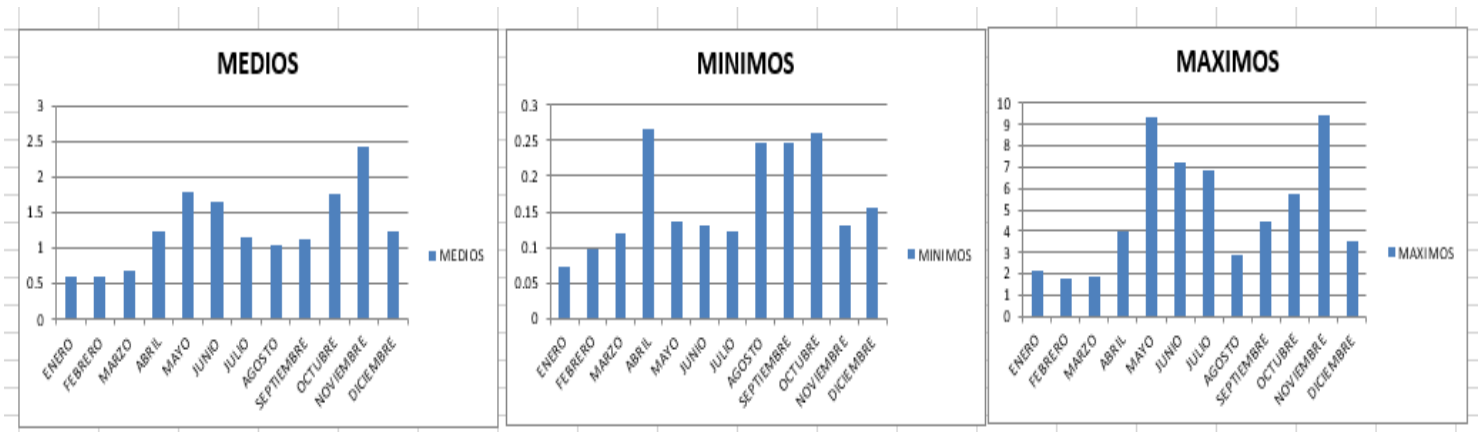
3.7.1. Valores mensuales de caudales

Medios mensuales (Estación San Rafael)

TABLA 5. Muestra los resultados obtenidos respecto a los valores mensuales medios de caudales para la estación SAN RAFAEL

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES												
SISTEMA DE INFORMACION												
VALORES MEDIOS MENSUALES DE CAUDALES (m3/seg)						NACIONAL AMBIENTAL						
FECHA DE PROCESO : 2018/03/20						ESTACION : 24037090 SAN RAFAEL						
LATITUD	0542 N	TIPO EST	LM	DEPTO	BOYACA	FECHA-INSTALACION 1964-ENE						
LONGITUD	7314 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO	TUTA	FECHA-SUSPENSION						
ELEVACION	2500 m.s.n.m	REGIONAL	06	BOYACA-CASAN	CORRIENTE	CHULO						
MESES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
MEDIOS	0.613	0.602	0.676	1.247	1.785	1.648	1.159	1.036	1.121	1.755	2.435	1.241
MAXIMOS	2.143	1.824	1.9	4.016	9.353	7.243	6.851	2.914	4.426	5.746	9.469	3.5
MINIMOS	0.073	0.097	0.12	0.266	0.135	0.13	0.122	0.247	0.246	0.26	0.132	0.156

Gráfico 1. Muestra los histogramas para los valores de caudales obtenido en la tabla 5.

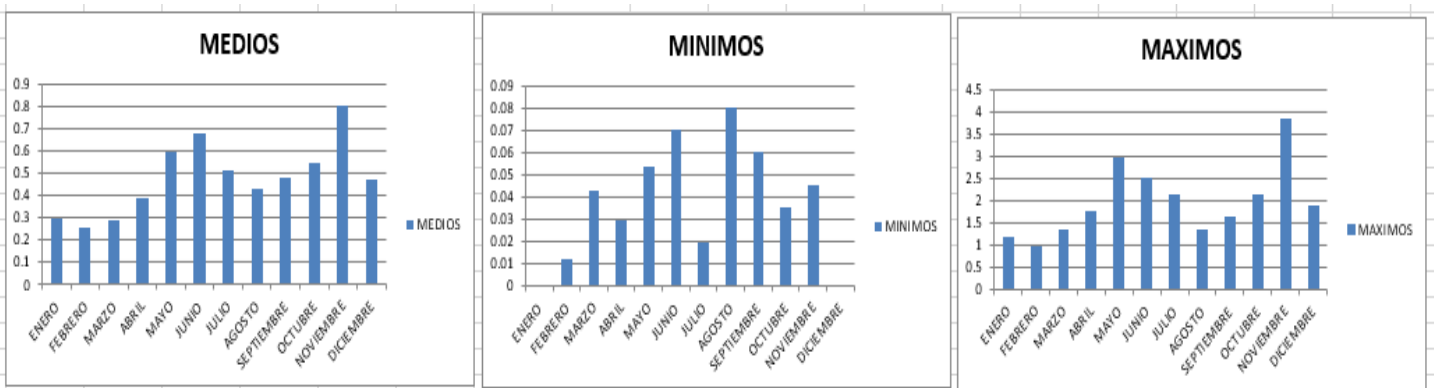


Máximos mensuales (Estación San Rafael)

TABLA 6. Muestra los resultados obtenidos respecto a los valores mensuales máximos de caudales para la estación SAN RAFAEL

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES													
SISTEMA DE INFORMACION													
VALORES MINIMOS MENSUALES DE CAUDALES (m3/seg)						NACIONAL AMBIENTAL							
FECHA DE PROCESO : 2018/03/20						ESTACION : 24037090 SAN RAFAEL							
LATITUD 0542 N		TIPO EST LM		DEPTO BOYACA		FECHA-INSTALACION 1964-ENE							
LONGITUD 7314 W		ENTIDAD 01 IDEAM		MUNICIPIO TUTA		FECHA-SUSPENSION							
ELEVACION 2500 m.s.n.m		REGIONAL 06 BOYACA-CASAN		CORRIENTE CHULO									
MESES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	
MEDIOS	0.299	0.258	0.285	0.386	0.598	0.676	0.516	0.43	0.48	0.544	0.8	0.468	0.48
MAXIMOS	1.2	0.98	1.35	1.77	2.95	2.529	2.157	1.33	1.622	2.12	3.842	1.893	3.84
MINIMOS	0	0.012	0.043	0.03	0.054	0.07	0.02	0.08	0.06	0.035	0.045 seco		seco

Gráfico 2. Muestra los histogramas para los valores de caudales obtenido en la tabla 6.



3.8. Valores mensuales de precipitación

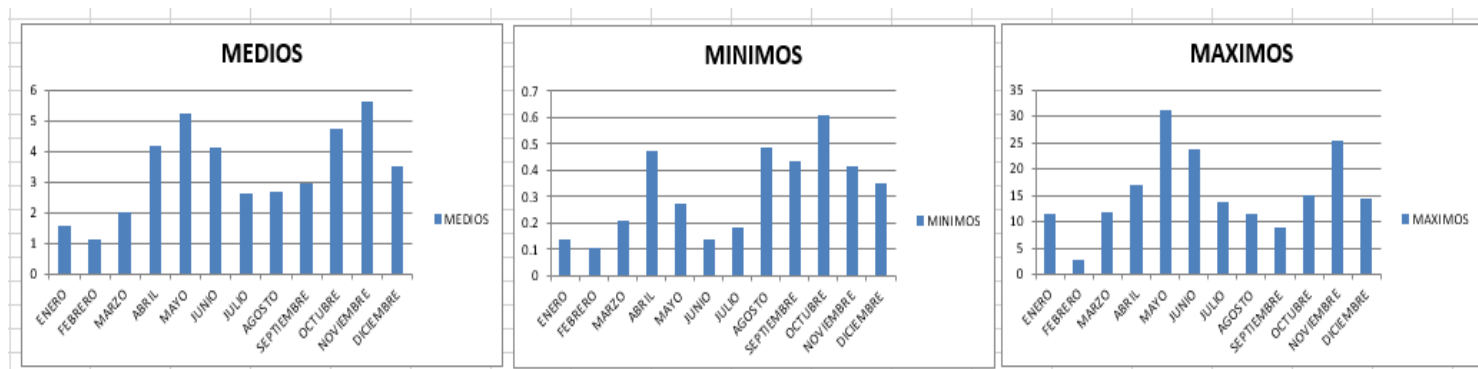
3.8.1. Valores mensuales de precipitación

Máximos mensuales (San Pedro Iguaque)

TABLA 7. Muestra los resultados obtenidos respecto a los valores mensuales máximos de caudales para la estación SAN PEDRO IGUAQUE

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES												
SISTEMA DE INFORMACION												
VALORES MAXIMOS MENSUALES DE CAUDALES (m3/seg)						NACIONAL AMBIENTAL						
FECHA DE PROCESO : 2018/03/20						ESTACION : 24037090 SAN RAFAEL						
LATITUD	0542 N	TIPO EST	LM	DEPTO	BOYACA	FECHA-INSTALACION 1964-ENE						
LONGITUD	7314 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO	TUTA	FECHA-SUSPENSION						
ELEVACION	2500 m.s.n.m	REGIONAL	06 BOYACA-CASAN	CORRIENTE CHULO								
MESES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
MEDIOS	1.569	1.139	1.997	4.152	5.25	4.111	2.62	2.675	2.951	4.741	5.64	3.512
MAXIMOS	11.33	2.6	11.7	16.8	31.1	23.6	13.75	11.33	8.87	15.1	25.5	14.3
MINIMOS	0.138	0.105	0.21	0.477	0.276	0.14	0.183	0.487	0.433	0.61	0.415	0.35

Gráfico 3. Muestra los histogramas para los valores de caudales obtenido en la tabla 7.



3.8.2. Regionalización de la precipitación

La imagen 9, muestra la regionalización de la precipitación en la zona de estudio a partir de la Tabla 8, esto con el fin de saber que zonas son las mas influenciadas por la precipitación que pueda presentarse.

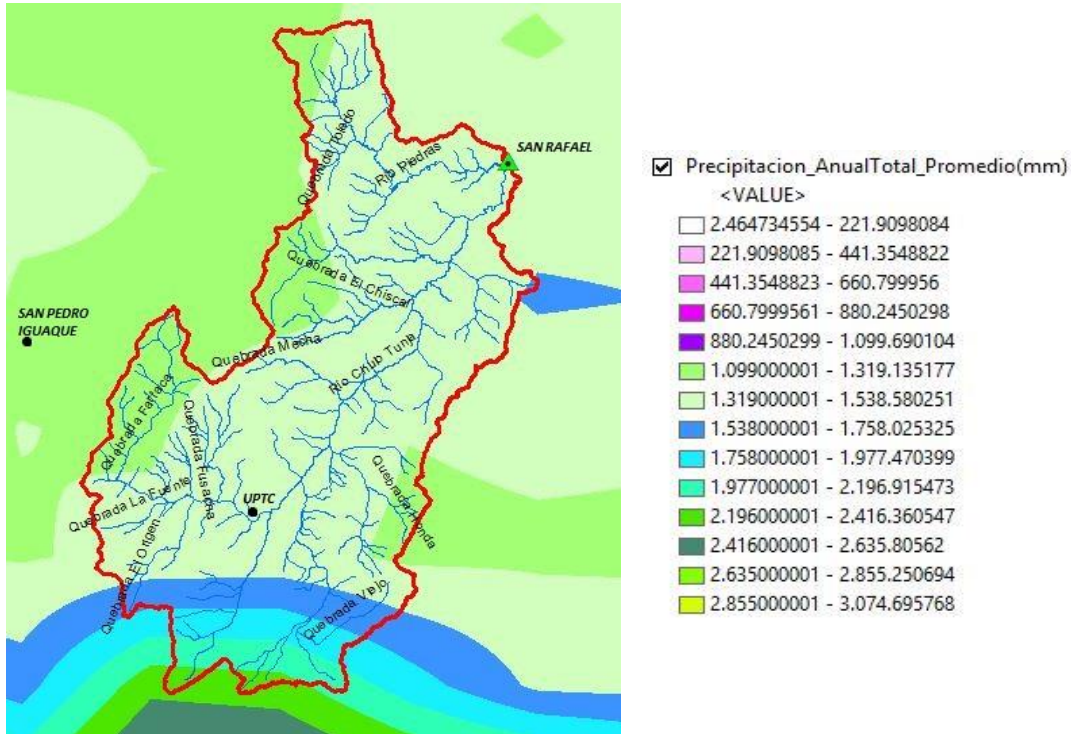


IMAGEN 9. Evidencia la regionalización de la precipitación en la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia

4. Conclusiones y Recomendaciones

Al analizar los parámetros morfométricos de la cuenca del Río Chulo, se logró encontrar que es una cuenca típica para la zona donde se encuentra, es decir, por las pendientes y dimensiones que esta tiene es similar a cuencas cercanas a esta, ya que se encuentra en una zona montañosa, por ende, las características físicas serán similares.

Gracias al balance hidrológico realizado con los datos abiertos obtenidos del IDEAM, se pudo encontrar las precipitaciones y caudales máximos anuales, no se realizó el estudio para ningún proyecto civil, pero si para años siguientes se requiriera podría utilizarse el análisis realizado ya que presenta el caudal y precipitación máxima del año, con estos valores pueden diseñarse estructuras para esta zona de estudio, cabe resaltar que el análisis realizado en este trabajo no es soporte suficiente para realizar cualquier tipo de construcción.

De los dos análisis realizados (morfométrico e hidrológico) se concluye que no es una zona donde puedan presentarse inundaciones, esto gracias a que la pendiente de la cuenca es pronunciada lo que facilita el escurrimiento superficial de agua y es una zona donde la infiltración de agua superficial no se fácilmente, esto también ligado a la pendiente y velocidad que toma el agua que corresponde a la esorrentía superficial.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

5.1. Documentos Técnicos

- ❖ CHJ, 2006. Comprobación y evaluación en la Cuenca Piloto del río Júcar de las Guías desarrolladas en el marco de la Estrategia común para la implementación de la Directiva Marco del Agua.
- ❖ CHJ, 2006. Estudio para la estimación de las dotaciones de agua para uso industrial, según diversos parámetros indicativos de la actividad industrial, dentro del ámbito de la Confederación Hidrográfica del Júcar.
- ❖ CHJ, 2009. Documento Técnico de Referencia (DTR). Identificación y Delimitación de Masas de Agua Superficial y Subterránea. Ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar.
- ❖ CHJ, 2009. Documento Técnico de Referencia (DTR). Identificación de las zonas protegidas, sus objetivos específicos y su grado de cumplimiento.
- ❖ CHJ, 2009. Documento Técnico de Referencia (DTR). Metodología y Resultados de la Estimación de Demandas.
- ❖ CHJ, 2009. Documento Técnico de Referencia (DTR). Evaluación del Estado de las Masas de Agua Superficial y Subterránea.

5.2. Artículos y Libros

- ❖ Andreu, J., Capilla, J. y Sanchís, E., 1996. AQUATOOL: A generalized decision support-system for water-resources planning and operational management. *Journal of hydrology*. 177 (1996) 269-291.
- ❖ Cabezas, 2012, El agua como recurso y su marco jurídico-administrativo. Ciclo de Conferencias "El Agua en España". Colegio Libre de Eméritos.
- ❖ Dillon, P. J., y Rigler, F.H. 1974. The phosphorus- chlorophyll relationship in lakes. *Limnol. Oceanogr.* 19: 767-773.
- ❖ Eart DATA. ALOS PALSAR. Sitio Web: <https://asf.alaska.edu/datasets/sar-data-sets/alos-palsar/alos-palsar-about/>
- ❖ Estrela, T, 2011. The WFD and the River Basin Management Plans in Spain. *Journal of Water Management*. United Kingdom. Volume 164 Issue WM8 Pages 397-404 doi: 10.1680/wama:1000005.
- ❖ Estrela, T, 2012. La planificación en el sector del agua (Conferencia I). Ciclo de Conferencias "El Agua en España". Colegio Libre de Eméritos.

- ❖ IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Sitio web: <http://www.ideam.gov.co/>
- ❖ Fanlo, A., 1996. Las Confederaciones Hidrográficas y otras administraciones hidráulicas, Ed. Civitas.
- ❖ Lorenzo Pardo, M. y otros, 1993. Plan Nacional de Obras Hidráulicas.
- ❖ Martínez Santa-María, C. y Fernández Yuste, J.A., 2006. Índices de Alteración Hidrológica en ecosistemas fluviales.
- ❖ Rouse, J.W, 1974. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. Progress Report number 7. Texas A&M University
- ❖ USDA, 1999. A procedure to estimate the response of aquatic systems to changes in Phosphorus and Nitrogen inputs.
- ❖ USEPA, 2000. Nutrient criteria technical guidance manual. Rivers and streams.

5.3. Tesis y Proyectos

- ❖ Pajares, A., 2002. Modelación cuasidistribuida de los recursos hídricos y establecimiento de zonas hidroclimáticamente afines en el ámbito de la confederación hidrográfica del Júcar, Proyecto final de carrera. Universitat de València.
- ❖ Pérez Martín, M.A., 2005. Modelo distribuido de simulación del ciclo hidrológico y de la calidad del agua, integrado en sistemas de información geográfica, para las grandes cuencas. Aportación al análisis de presiones e impactos de la Directiva Marco del Agua. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Valencia.